

ものづくりを進化させた 溶接の世紀

●監修 大阪大学 接合科学研究所 招聘教授

(株)IHI 技術開発本部 溶接技術部 シニアエンジニア 中西 保正氏

金属を接合する溶接は、現代のものづくりには欠かせない技術です。ろう付けなどによる接合は紀元前から行われていましたが、接合部を溶かしてつなげる溶接の発明は19世紀、実際に普及するのは20世紀に入ってからと、実は私たちにとって比較的新しい技術です。溶接は強度、美観、作業性に優れ、ものづくりを大きく進化させました。溶接技術とものづくりの歴史を振り返ります。



大正時代の電気溶接

©三菱重工業(株)長崎造船所

溶接の始まり



1919(大正8)年
貨物船イースタン・クラウンの
建造風景

©三菱重工業(株)長崎造船所



エッフェル塔

高さ324mのエッフェル塔。1889年の建造当時、溶接はまだ一般的ではなく、250万本のリベットで接合された。



Welding History



© 中西保正氏

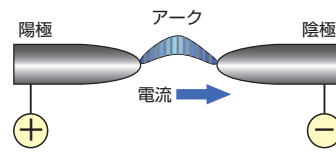
ドイツ博物館(ミュンヘン)展示のUボート

高張力鋼を使った世界初の溶接潜水艦Uボートは1936年に建造され、極寒の北海などでも使用された。一方、日本の潜水艦に適用されたのは1944年であり、ドイツからの技術導入による。(ただし、上の写真はリベット接合でつくられていた初期のUボート)



© (株)ゴールドシュミット・テルミット・ジャパン

1909(明治42)年、東京のレール溶接現場風景

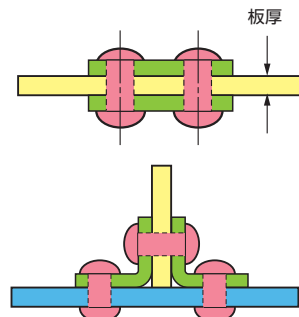


アークの原理

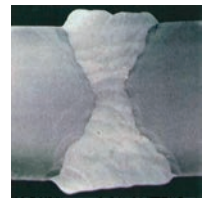
アークとは2つの電極間で放電させることで、高温で強い光を発する現象。



アーク(放電)の熱で部材と溶接棒を溶融させて、部材をつなぐ



リベット接合構造



溶接構造

溶接のメリット

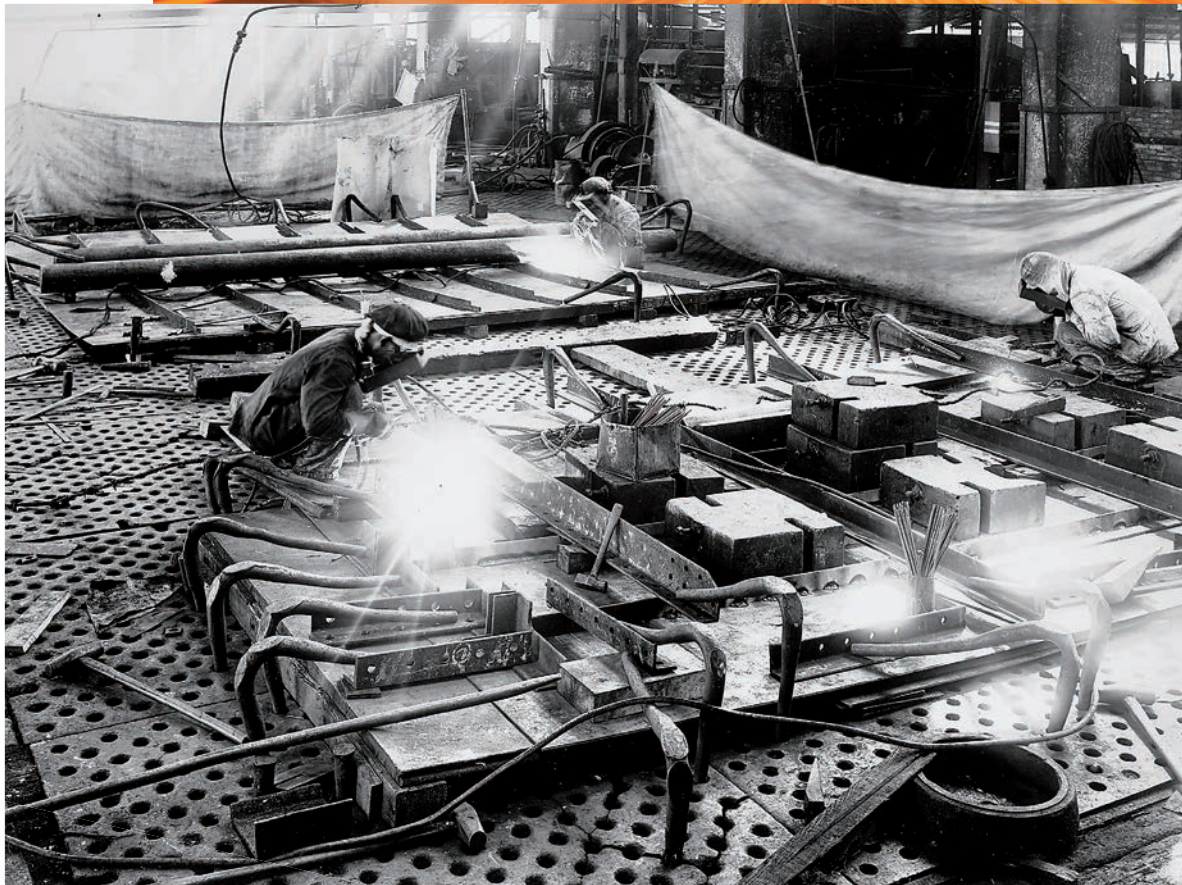
- ① 設計上の自由度が大きく、リベット構造では不可能な構造も製作できる
- ② 構造の簡易化が可能で、重量や工数を低減できる
- ③ 板厚に制限がなく、すき間なく接合でき気密性に優れている

高温の熱源「アーク」の発見

溶接は金属、とりわけ鉄と深いかわりを持つ技術です。18世紀後半、産業革命で鉄が大量生産できるようになると、いかに鉄同士を接合するかが大きなテーマとなりました。溶接が誕生する以前、鉄をつなぐ手法として一般的だったのはリベット接合です。1889年に建てられたパリのエッフェル塔や、同じ頃つくられた始めた船などはリベット(鉄)が使われました。

溶接は金属同士を溶かすため、取り扱いやすい高温の熱源が必要でした。1800年、イギリスのハンフリー・デービーが、2つの電極間の放電で光と熱が発する現象を発見し、これを「アーク」と名づけます。当初は光源としての利用が中心でアーク灯の発明につながりましたが、のちに金属の溶解にも利用が試みられ、19世紀末にアーク溶接技術が確立します。またアーク溶接以外にも、酸素アセチレンガスを使ったガス溶接がフランスで1901年に発明されるなど、新しい熱源を得たことで、欧米では1920年代から急速に溶接が普及していきます。

溶接は穴のあいた金属材料にリベットを差し込んで固定するリベット接合に比べ、接合部の強度を維持し、軽量で設計の自由度も高く、作業効率が良いといったメリットがあります。第1次世界大戦で欧米の産業界では大量生産・短納期への要求が高まったこともあり、造船から建築まで多くの構造物に溶接が用いられました。溶接先進国であったドイツでは、1936年には潜水艦Uボートを溶接によって建造しています。



昭和初期(1926～1941年)の電気溶接作業

© 三菱重工業(株)長崎造船所

日本では関東大震災後の復旧工事で溶接が一時普及するものの、国内の法規定によって認められにくかった。しかし欧米からの刺激で船や鉄道に溶接技術が採用されていく。

近代日本の溶接の夜明け



© 三菱重工業(株)長崎造船所

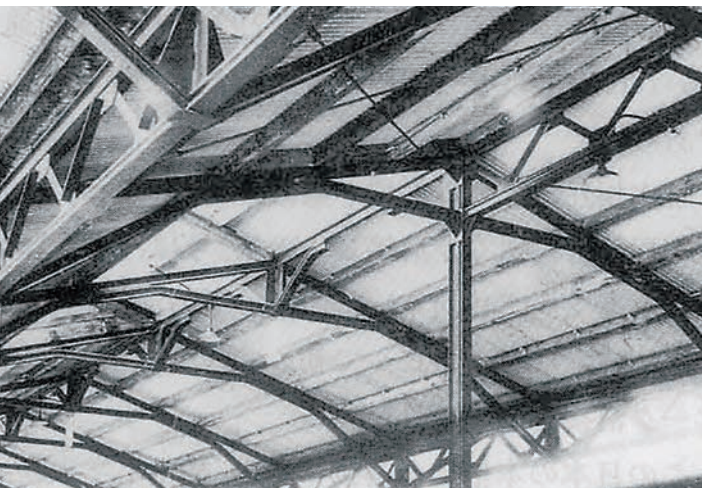
諷訪丸

1920(大正9)年、フェリーボートの諷訪丸に溶接が適用された。
継手はリベットで、溶接は補剛材などに使われた。

船から始まった日本の溶接

欧米で発明された溶接技術が日本に導入されたのは20世紀初頭とされ、関東大震災の復旧工事をきっかけに普及し始めました。

大型構造物に溶接技術が使われた記録が最初に残っているのは船です。1920(大正9)年、佐世保工廠で火薬運搬船、三菱長崎造船所で諷訪丸が相次いで溶接船として建造されています。1930(昭和5)年には、本格的な溶接船である敷設艦の八重山が竣工。これは日本発の新技术とされるブロック建造方式を採用した船でもありました。



古レールを用いて全溶接された汐留駅

© 夏目光輝氏

かつて鉄そのものが貴重だったことから、古いレールを鉄道駅のプラットフォームの柱梁に活用していた。それまで接合部にリベットが適用されていたが、1934(昭和9)年の建て替えの際には東京・汐留駅では全溶接でプラットフォームがつけられた。



SL人吉(8620形蒸気機関車)

© 中西保正氏

日本で初めて本格的に量産された1922(大正11)年製8620形蒸気機関車を復活させ、SLあそBOYとして1988(昭和63)～2005(平成17)年、熊本・阿蘇間を運行。さらに傷んだ台枠を溶接で更新し、SL人吉として2009(平成21)年に復活。保存蒸気機関車の更新・修理にあたって、新造溶接ボイラに新日鉄住金の材料が使われた。日本で蒸気機関車への溶接適用は1930(昭和5)年に始まり、ボイラ構造の簡略化や軽量化が可能になった。



Welding History

10分の1サイズで復元された大和

大和は主要部の接合はリベットであったが、補剛材を中心に多くの部材の接合に溶接が使われた。重量と工期の面から溶接技術なしには完成し得なかった。

© 呉市海事歴史科学館(大和ミュージアム)

1941(昭和16)年に竣工した戦艦大和にも多くの溶接が使われています。実は当時、船の海難事故が続いたため溶接の強度不足が疑われ、船の主要構造への適用が禁じられていました。しかし軽量化と工期の問題から、実際には大和に溶接が多用され、使った溶接棒は750万本、溶接線長は約460キロメートルにものぼりました。当時すでに溶接が、ものづくりに欠かせない技術として定着していたことがわかります。

船と並び、戦前の溶接構造物の象徴といえるのが鉄道です。蒸気機関車には早くから溶接が使われました。1930(昭和5)年には、重要部材である内火室や缶胴継手に溶接が採用されました。現在、東京・JR新橋駅前SL広場にも保存されているC11形蒸気機関車の車体およびボイラは、溶接技術が採用されています。また世界初の流線型列車として有名な満鉄あじあ号は、高張力鋼を使った溶接構造の機関車としても知られています。

このほか、橋梁に溶接が使われ始めたのも同じころで、日本初の本格的な全溶接橋梁である川崎市の昇開橋は1933(昭和8)年に完成しています。

戦前の日本では溶接技術導入後、その技術力も欧米と肩を並べるほどに発展しました。しかし需要は国家事業が中心であり、民間に広く普及するのは戦後になってからでした。

最近の船の構造

損傷事故による海洋汚染を防ぐため、1996(平成8)年以降の原油タンカーは、船体の二重構造(ダブルハル化)が義務付けられた。溶接箇所・工数が増えたことを受け、溶接しやすい鋼材と溶接材料、溶接効率を高めるロボットなどが開発された。日本の溶接技術とものづくりは、絶え間ない進化を続けている。



© 三菱重工業(株)長崎造船所

現代日本を支える溶接技術



日本初のオールステンレス車両

©(株)総合車両製作所

1958(昭和33)年に日本初のステンレス車両が誕生したあと、スポット溶接による構造設計の研究などが進み、1962(昭和37)年には外板だけでなく骨組にもステンレス鋼を用いたオールステンレス車両を実現。現在の通勤車両を中心として広く普及しているステンレス車両の原型となった。



都市ガス用球形タンク(東京ガス世田谷整圧所)

©東京ガス(株)

タンクは当初リベット接合だったが、日本で本格的に溶接が用いられるようになったのは第2次世界大戦ころからである。そして1956(昭和31)年、780MPa級高張力鋼を使った世界初の大規模溶接構造物である球形タンク(都市ガスホルダー)が完成。日本の高張力鋼の溶接技術の発展に大きく貢献した。

さまざまな構造物に適用され 社会の発展に貢献

戦後日本の復興のため、溶接の果たした役割は極めて大きなものでした。なかでも戦前に培われた船の溶接ブロック建造は、戦後日本の造船業の飛躍的な発展を支え、高度経済成長をけん引しました。

溶接技術は戦後、船や鉄道だけでなく、さまざまな構造物に適用されていきます。1956(昭和31)年には780MPa[※]級高張力鋼を使った世界初の大規模溶接構造物である都市ガス用球形タンクが建設されました。使用条件の過酷な貯蔵タンクには高張力鋼が適しているものの、当時はそうした材料に対する溶接技術が未熟であったため試行錯誤を重ねました。しかし、あらかじめ材料に熱を加えておく予熱技術の改善などで課題を克服し、その後の高張力鋼溶接の発展に大きく貢献しました。

溶接の普及拡大は、鋼材をはじめとする材料の進化も促しています。なかでも、製造プロセスを工夫することで組織の結晶を細粒化し、強度と靱性(粘り強さ)を向上させたTMC[※]鋼の登場は、溶接の発展において画期的な出来事でした。TMC[※]鋼は、溶接時に従来よりも大きな熱を加えること(大入熱溶接)ができ、予熱なしでの溶接を可能にするなど、作業効率を飛躍的に向上させました。特に大型タンカーなど船舶の建造現場で競争力を発揮し、造船大国日本の隆盛を支えました。

※MPa：メガパスカル。引張強さや圧力の単位。



天門橋(全長502m)



港大橋(全長980 m)



明石海峡大橋(全長3,911 m)

最新の鋼材と溶接技術が投入された長大橋建設

1966(昭和41)年完成当時連続トラス橋として世界一を誇った天門橋(熊本県)で590MPa級鋼、1974(昭和49)年完成当時トラス橋として日本最長だった港大橋(大阪府)で690、780MPa級鋼が大量採用。そして1998(平成10)年完成の明石海峡大橋(兵庫県)で低予熱型780MPa級鋼が開発され、強度と溶接施工性の向上を両立させた。



Welding History



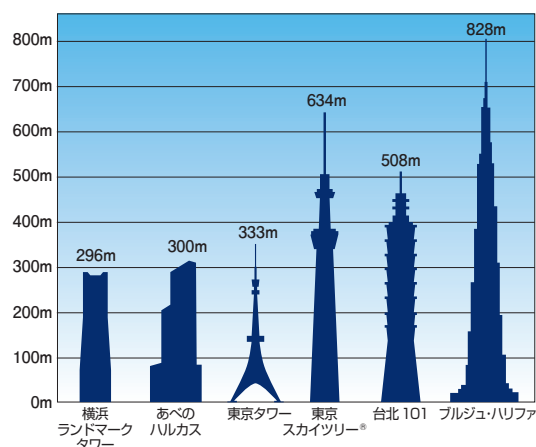
霞が関ビルディング

1968(昭和43)年竣工の霞が関ビルディングで、極厚の溶接組み立て日形鋼が大量に使用された。また現在の高層ビル建設に欠かせない新しい溶接法が適用された。

近年の溶接による大型構造物では、1998(平成10)年の明石海峡大橋などの長大橋建設があげられるでしょう。また、橋梁の架設はボルト接合が一般的でしたが、近年は厚板を多用して製作コストを低減した少数主桁橋梁に移行し、ボルト接合が困難な厚い鋼材の現場溶接技術が確立されています。

このほか、2012(平成24)年に完成した高さ634メートルの東京スカイツリー®にも溶接が多用されています。こうした巨大建築物には軽量化と強度の両立が不可欠であり、今後もますます溶接の重要性は高まっていくことでしょう。

有史以来、接合は、人類の永遠のテーマでした。そのなかでも溶接の進化は今後も続き、ものづくりに新しい世紀をもたらしてくれるに違いありません。



建築物の高層化

建築物の高層化や大スパン化に伴って高強度鋼の適用が進められてきた。東京スカイツリー®では780MPa級鋼などが本格的に使用されるとともに、溶接材料も開発され、溶接施工効率の向上と優れた溶接部品質が確保された。優れた日本の鉄の技術は台北101(台湾)、ブルジュ・ハリファ(アラブ首長国連邦)など海外でも採用されている。